

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-136218
 (43)Date of publication of application : 31.05.1996

(51)Int. Cl. G01B 11/00
 G01C 15/00
 G01C 15/06
 G06T 7/00
 // G06F 17/00

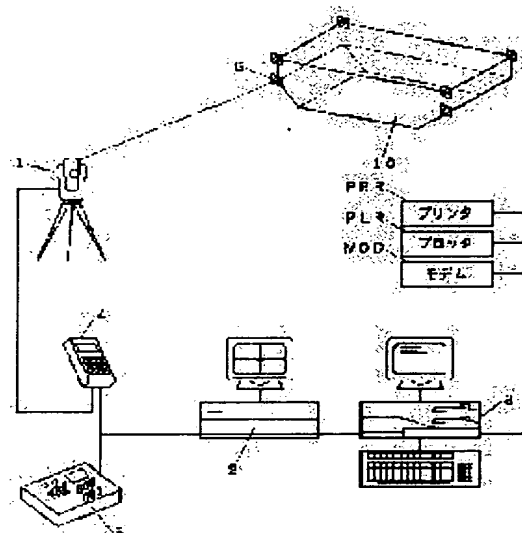
(21)Application number : 06-272541 (71)Applicant : NIPPON STEEL CORP
 (22)Date of filing : 07.11.1994 (72)Inventor : OTOMO YUJI

(54) METHOD FOR AUTOMATICALLY MEASURING AND ANALYZING THREE-DIMENSIONAL COORDINATES

(57)Abstract:

PURPOSE: To provide an automatic measuring and analyzing method, which measures the three-dimensional shape of a large structure or the like in high accuracy and at high efficiency.

CONSTITUTION: The main body of a measuring instrument 1 has a CCD camera, which collimates many targets 6 on an object to be measured 10 and can be, driven by a motor. An image processing device 2 analyzes the target images picked up with the CCD camera. A three-dimensional measuring system performs the setting of measuring conditions, coordinate conversion and analysis. These parts are used, and the designed dimensional values or the coordinate value of the object to be measured 10, which are inputted into the above described system, undergo coordinate conversion. The CCD camera is driven, the targets 6 are automatically tracked and the three-dimensional coordinates are automatically measured.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 10.04.1998
 [Date of sending the examiner's decision of rejection]
 [Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]
 [Date of final disposal for application]
 [Patent number] 3210817
 [Date of registration] 13.07.2001
 [Number of appeal against examiner's decision of rejection]
 [Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]
 [Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平 8 - 1 3 6 2 1 8

(43) 公開日 平成8年 (1996) 5月31日

(51) Int. Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 1 B	11/00	H		
G 0 1 C	15/00	A		
	15/06	T		
		9069 - 5 L	G 0 6 F	15/62 4 1 5
				15/20 D
審査請求	未請求	請求項の数 2	OL	(全 1 2 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平6-272541

(22) 出願日 平成6年 (1994) 11月7日

(71) 出願人 000006655

新日本製鐵株式会社

東京都千代田区大手町2丁目6番3号

(72) 発明者 大 友 雄 二

東京都千代田区大手町2-6-3 新日本製
鐵株式会社内

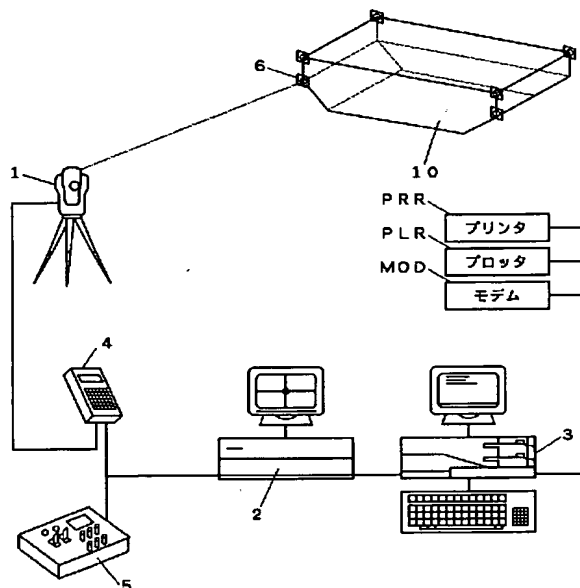
(74) 代理人 弁理士 杉 信 興

(54) 【発明の名称】 三次元座標自動計測解析法

(57) 【要約】

【目的】 大型構造物等の三次元形状を高精度かつ高能率で計測する自動計測解析方法を提供する。

【構成】 計測対象物上の多数のターゲットを視準するモーター駆動可能なCCDカメラを備えた三次元座標計測可能な計測器本体と、CCDカメラで捉えたターゲット画像を解析する画像処理装置と、計測条件の設定、座標変換、解析を行う三次元計測システムを用いて、前記システムに入力した計測対象物の設計寸法値又は座標値を座標変換してCCDカメラを駆動してターゲットを自動追尾して自動的に三次元座標を計測する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 計測対象物上の多数の測点に設けたターゲットを視準して、各測点の三次元座標値を計測するシステムにおいて、

モーター駆動可能な CCD カメラで捉えた前記ターゲット上の視準点の位置を測距、測角する機能を備えた計測機本体と、計測機本体の CCD カメラで捉えたターゲットの画像を解析する画像処理装置と、計測条件の設定、座標変換、解析を行うプログラムが作動するモニター付きコンピュータ等で構成された三次元計測システムを用いて、計測対象物の設計寸法値または三次元設計座標値をコンピュータに入力し、モニター画面で計測機の設置可能範囲を求めた後、その範囲内に計測機を設置し、

基準となる測点を実測して得られた座標値を基に基準座標系を設定して各測点の三次元設計座標値の座標変換を行い、その設計座標値を自動計測用の極座標値に変換し、変換された極座標値で計測機の CCD カメラを駆動し、各測点に取り付けられたターゲットを自動的に追尾し、CCD カメラの光軸が測定対象ターゲット内に入った状態で測距、測角を行うとともに画像処理装置にてターゲット像を解析し、視準点とターゲット像の図心とのずれ量、ターゲット面の傾きとその方向、ターゲット像の主軸とターゲット面上に記された基準の傾きを求め、これらの値から視準点からターゲット中心点までの三次元座標値および計測対象物上の測点の三次元座標値を求めることを特徴する三次元座標自動計測解析法。

【請求項 2】 ズーム機能付き CCD カメラを用いて、その視野を拡大することによって視野内にターゲットを捉え、そのターゲット像の画像処理を行ってターゲットの視準面の色またはパターンから測定対象ターゲットを識別し、CCD カメラの光軸と識別した測定対象ターゲット像の図心との二次的なずれ量を画像解析によって求め、計測機本体を駆動して CCD カメラの光軸を視野内の該測定対象ターゲット内に入るように移動することを特徴とする請求項 1 記載の三次元座標自動計測解析法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、土木、建築構造物ならびに船舶等の大型構造物およびそれを構成する製作部材の計測とその計測値の解析を行う三次元座標自動計測解析システムに関する。

【0002】

【従来の技術】橋梁、建築鉄骨、船舶、その他大型鋼構造物は、工場にて鋼板等の部品を組立、溶接して複数の部材ブロックに分割製作したものを、建設現場ないし船台に移送し、そこでボルトまたは溶接により接合して建造される。従来は、ブロックの製作完了後建設現場への移送に先だって工場またはヤードで現物合わせで仮組立を行って組立状態の確認を行い、現地における接合に支

障が生じないようにしてきた。しかし近年、鋼構造物製作の省力化、省スペース化、コストダウンの要求と部材製作精度の向上、計測技術の高度化が進んできたことから、また、鋼構造物が超大化する事もあって、仮組立を省略する方向に変わりつつある。

【0003】この場合仮組立を省略しても現地における接合に支障が生じないようにするために、コンピュータなどを利用して、ブロック同士を仮想的に組立てて組立精度を確認する仮組立シミュレーションを行う必要がある。この仮組立シミュレーションを行う際、使用するブロックの三次元形状の正確な計測データを得ることは、仮組立シミュレーションの精度を決定するという点で重要なことである。しかしながら、従来の三次元形状の計測は、トランシットや巻尺、下げ振り、レベルなどを利用した二次元的なものであり、三次元形状の正確な把握には不適当なものであった。近年、三次元形状のブロックの計測に、測量の分野で発展してきた前方交会法による三角測量や、光波距離計を用いた測距、測角法によるものが採用されるようになってきている。

【0004】一例として、一台の計測機で計測対象物上の任意の点の三次元座標値を計測できる三次元座標計測システムが、商品名「MONMOS」として、株式会社ソキアから市販されている。この装置は、あらかじめ任意の 2 点を計測して三次元座標系を設定した後、各測点に設けた反射ターゲットの中心を視準して水平角、鉛直角、測距、の 3 要素を同時に計測し、座標変換の解析、演算を行って三次元座標値を求めるもので、100m 離れた距離で±1mm 以下の高い精度が得られるものである。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、前記「MONMOS」を含めて従来の三次元座標計測機は、視準作業において望遠鏡のビント合わせやターゲット中心と望遠鏡の十字線の中心合わせ等を人間の視覚によって行っていたため、作業が煩雑で視準作業に時間を要し、また計測者の人的誤差が入りやすく、能率が悪く計測精度を低下させる要因となっていた。このような欠点を解消するには、視準作業を自動化することが考えられ、一部で自動視準方式の計測機が開発されている。

【0006】例えば、「第 4 回建設ロボットシンポジウム 1994 年 7 月 19～20 日」で発表された「三次元空間自動測量システムの開発」では、自動視準して測距、測角を行う測量機本体と、これらの機器を制御しデータの表示、記録、管理する制御管理用コントロールユニットで構成された機器を用いて、大型タンク等の大空間構造物の挙動を無人計測した事例が開示されている。このシステムは、標的（ターゲット）位置、測定順序等の条件を初期設定した後、モーター駆動する CCD カメラで捉えた標的を画像処理装置で抽出し、標的図心と CCD カメラの光軸を一致させるように CCD カメラの水

平角、鉛直角をサーボモーターで駆動させ自動視準するものである。なお、初期設定時の標的位置は座標値が既知の場合には作業者が直接座標値を入力し、未知の場合にはコントローラーにより CCD カメラを標的に向けモニター画面に入れる作業を繰り返してティーチングするものである。

【0007】本システムでは自動視準する初期設定においてあらかじめ各標的の座標値を入力するとしているが、計測機を原点としたときの自動視準用の各測点の座標値の算出方法を明示していない。あるいは各測点に CCD カメラを向けてモニター画面に入れる作業を繰り返し行ってティーチングするとしており、煩雑な人作業を伴い自動化のメリットがあまり期待できない。また自動視準において標的図心を画像処理によって求め、視野内で CCD カメラをサーボモーターを駆動させて CCD カメラの光軸と標的図心を合致させる動作を繰り返し行って視準する方式としているため計測に時間を要し、また標的図心と CCD カメラの光軸を合致させる際機械誤差が伴うため計測精度が悪くなるという問題がある。

【0008】この他の自動測量システムとして、ライカ株式会社の自動監視測量システム「WILD APS」がある。このシステムは、ターゲットの自動追尾、自動探索、自動視準機能を有する三次元座標自動計測システムであるが、前記の自動計測システムと同様に、初期設定時の標的位置の入力方法が同じであり同様の問題がある。

【0009】このシステムのターゲットの自動探索機構は、測距光のターゲットからの反射の有無をもとに、水平、鉛直方向の走査を行ってターゲットを探索しているので、点による探索であり、複数のターゲットの中から特定のターゲットを検出できず、詳細な計測には不向きである。さらに探索の範囲の視準方向の水平および鉛直角が $10^{\circ} \times 10^{\circ}$ と狭く、計測対象物と近接した計測には向かないという問題があった。

【0010】また、測点上のターゲットを直接視準できない場合には、複数台の計測機を使用するか計測機を移動して計測しなければならない。計測機の台数、移動回数を最小限にするためには、ターゲットの中心を測点から偏位させて計測機から視準できる位置にターゲットを設置する必要があり、ターゲットを視準し中心点の三次元座標値を求めただけでは測点の位置を特定できず、測点の三次元座標値すなわち計測対象物の実形状を正確に求めることができないという問題があった。

【0011】また、これらの三次元座標値計測システムは、実測の座標系に対応した計測対象物の設計座標値を有しておらず、計測の途中において、設計値との比較ができないことや、当該計測の信頼性を計測現場で確認できないという問題があった。本発明はこれらの課題を解消し、人的な作業を極力排除し、かつ能率が良く精度の高い三次元座標自動計測解析方法を提供することを目的としている。

【0012】

【課題を解決するための手段】

(1) 計測対象物上の多数の測点に設けたターゲットを視準して、各測点の三次元座標値を計測するシステムにおいて、モーター駆動可能な CCD カメラで捉えた前記ターゲット上の視準点の位置を測距、測角する機能を備えた計測機本体と、計測機本体の CCD カメラで捉えたターゲットの画像を解析する画像処理装置と、計測条件の設定、座標変換、解析を行うプログラムが作動するモニター付きコンピューター等で構成された三次元計測システムを用いて、計測対象物の設計寸法値または三次元設計座標値をコンピューターに入力し、モニター画面で計測機の設置可能範囲を求めた後、その範囲内に計測機を設置し、基準となる測点を実測して得られた座標値を基に基準座標系を設定して各測点の三次元設計座標値の座標変換を行い、その設計座標値を自動計測用の極座標値に変換し、変換された極座標値で計測機の CCD カメラを駆動し、各測点に取り付けられたターゲットを自動的に追尾し、CCD カメラの光軸が測定対象ターゲット内に入った状態で測距、測角を行うとともに画像処理装置にてターゲット像を解析し、視準点とターゲット像の図心とのずれ量、ターゲット面の傾きとその方向、ターゲット像の主軸とターゲット面上に記された基準の傾きを求め、これらの値から視準点からターゲット中心点までの三次元座標値および計測対象物上の測点の三次元座標値を求めることを特徴する三次元座標自動計測解析法。

【0013】(2) ズーム機能付き CCD カメラを用いて、その視野を拡大することによって視野内にターゲットを捉え、そのターゲット像の画像処理を行ってターゲットの視準面の色またはパターンから測定対象ターゲットを識別し、CCD カメラの光軸と識別した測定対象ターゲット像の図心との二次的なずれ量を画像解析によって求め、計測機本体を駆動して CCD カメラの光軸を視野内の該測定対象ターゲット内に入るように移動することを特徴とする上記(1)記載の三次元座標自動計測解析法。

【0014】

【作用】上記(1)によれば、計測対象物上の各測点の三次元座標値あるいは計測対象物の寸法値は設計値において既知であるので、この既知の設計座標値と計測機本体の位置をモニター付きコンピューターに入力し、次に各測点のターゲットの配置、視準する順番といった計測のシミュレーションを行い、計測対象物上の所定のターゲットを視準できる計測機本体の設置範囲をモニター上で実測の前に求められる。この設置範囲内に計測機本体の設置をすることによって、以降の自動計測が確実なものとされる。

【0015】計測現場では、上記位置に設置された計測機により計測対象物上の基準点となる 3 測点上のターゲ

ットの位置が測距、測角され、計測機を原点とした極座標値で検出される。そして、この極座標値は三次元座標系の座標値に座標変換され、基準の3測点の三次元座標値が求められ、その3基準点を基に基準直交座標系が定められる。この基準座標系を共通の座標系とし、入力済みの設計座標値または設計寸法値は基準座標系の三次元設計座標値に変換される。そして、各測点の計測ではこの三次元設計座標値を計測機本体を原点とした極座標値に変換し、この座標値を用いてあらかじめ設定した順番で計測機本体上のCCDカメラの視準方向を自動的にを

駆動することによって、各測点のターゲットが順次追尾される。さらに、視準面に基線を記したターゲットを用いることにより、ターゲット中心点の三次元座標値の偏位補正を行って測点の三次元座標値が求められる。

【0016】また、CCDカメラで捉えられた各測点のターゲットはそのターゲット像を画像解析することにより視準点からの一次元的なずれ量が求められ、視準点の座標値を補正することにより、距離計の視準軸をターゲットの中心点に合致させることなく、ターゲット中心点の三次元座標値を得る、すなわち自動視準される。

【0017】上記(2)によれば、ズーム機能付きCCDカメラを用いることにより、CCDカメラの視野内にターゲット像がない場合、視野を拡大し自動的に視野内にターゲットを捉え、ターゲットの色またはパターン認識から測定対象ターゲットを画像処理により識別し、複数のターゲットの中から測定対象ターゲットが検出される。画像解析より演算された数値制御データにを用いて、計測機本体をCCDカメラを駆動しCCDカメラの光軸を測定対象ターゲット内に移動後、自動視準をおこ

ない、ターゲット中心点の三次元座標値を得ることができる。

【0018】上記の方法で求められた計測対象物上の測点の三次元設計座標値は、任意の三次元直交座標における座標値、寸法値に変換され、設計値と比較され誤差量を算出し出力される。

【0019】

【実施例】以下、本発明の実施例を図を参照して説明する。図1は、本発明の一実施例による大型構造物の三次元座標計測解析システムの全体構成を示す図である。本発明に用いるシステムは、計測対象物上の各測点に設けられたターゲット6と、サーボモータ駆動のカラーCCDカメラにより、ターゲット6を自動的に追尾、探索、視準し、測距、水平および鉛直角の測角を行う機構を有する計測機1と、計測機1のCCDカメラから得られた画像を解析する画像処理装置2と、計測のシミュレーション、座標変換等の解析および計測結果の記憶を行うモニター付きコンピュータ3と、自動計測用極座標を演算し、計測機本体の数値制御用データの生成を行うプログラムが稼働する携帯型コンピュータ4と、CCDカメラの視準方向、拡大倍率、合焦を遠隔操作するコントロ

ーラ5と、プリンタPRR、プロッタPLR、モデムMOD等の出力装置等で構成される。モデムMODは通信線を介しての他のコンピュータとのデータ通信を行なうためのものである。

【0020】ターゲット6は、プリズム反射シートであり、計測機1から発射された光波を反射する。反射光はCCDカメラで撮像され、CCDカメラの撮影画像信号すなわち画像信号より、ターゲット6の像が認識される。ターゲット6は、視準距離に応じて必要サイズのものを用いる。たとえば視準距離10mでは直径5mm以上、視準距離100mでは100mm以上とする。各測点にターゲット6を設ける際、ターゲット面7の光軸となす角度は $\pm 45^\circ$ 以内が計測可能であるが、なるべくCCDカメラに正対させる。ターゲット6の形状は、円形、四角形、三角形等いずれでもよいが、後述するターゲットの傾きによるずれ量の補正をする場合には、真円にしたものを使用するのがよい。また、図10に示するような垂直な側面19を有する円筒形ターゲットを用いると、ターゲットの画像の側面像21から傾きの方向を知ることができる。さらにターゲット表面に着色したり特定のマークを付けると、ターゲットの識別に便利である。

【0021】図2の(a)は、真円の視準面をもつシートタイプのターゲットである。ターゲット表面には必ずしもターゲットの中心を示すクロスラインを必要としないが、ターゲット中心を測点に合わせやすいように、図2の(b)に示すようなクロスラインを記してもよい。図2の(c)は、ターゲットの中心を測点に一致させて取付けにくい場合に使用するターゲットの一例であり、ターゲットの視準面7を2軸方向に傾斜または回転させて使用することができる。この場合、測点の方向を示すターゲットの中心を通る基線8をターゲット視準面7上に記したものを使用する。

【0022】計測機1は、近赤外線による測距を行う光波距離計と、水平角および鉛直角の測角を行う測角計と、ターゲット6を自動的に追尾、探索、視準するためのズーム機構付きのカラーCCDカメラと、視準方向を数値的に制御できる水平角および鉛直角可変用のサーボモータ等を備えており、設計極座標値の入力を受けターゲット6を視準して、測距、測角を行い、ターゲット中心の座標の極座標として出力する。なお、光波距離計の視準軸とCCDカメラの光軸は同軸である。また、色彩によるターゲットの識別の必要性がなければ、白黒のCCDカメラでもよい。

【0023】モニター付きコンピュータ3は、計測シミュレーション、座標変換等の解析、設計値および計測結果のグラフィック表示および記憶等を行うもので、計測のシミュレーション、座標変換、補正演算等の解析ソフトウェアが作動するものである。

【0024】携帯型コンピュータ4は、上記のモニター

10

20

30

40

50

付きコンピュータ 3 とほぼ同等の機能を有し、実測時の計測対象物 10 と計測機 1 の位置関係に基づいて各測定点の三次元設計座標値の変換を行い、自動計測用極座標値を演算し数値制御用データの作成を行うもので、ノートパソコンあるいはハンディターミナル等を用いる。

なお、携帯型コンピュータ 4 を省略し画像処理装置 2 とモニター付き用コンピュータ 3 とオンライン等で直接接続してもよい。

【0025】コントローラ 5 は、計測機 1 の CCD カメラの視準方向、拡大倍率、合焦を遠隔操作する機能を有し、計測対象物 10 上の測点のうち、原点と基準軸および基準面を設定するための 3 基準点を視準するために使用される。また、計測対象物 10 上の三次元設計座標値が既知でない測点の三次元座標値を、マニュアル操作で計測する場合にも使用する。

【0026】-第 1 実施例-

以下、前記のように構成したシステムを用いて計測対象物上の測点の三次元座標値を自動的に計測する第 1 の実施例について説明する。図 3 は計測手順の骨子を示すフローチャートであり、図 4 は計測対象物を自動的に計測する態様を示したものである。この第 1 実施例では次のように三次元座標値自動計測を行なう。

①計測対象となる構造物の設計あるいは製作のために作成された既知の三次元設計座標値を、モニター付きコンピュータ 3 を使用して入力を行い、モニター画面上に計測対象構造物の三次元設計モデルを作成し測点を決定する。この場合、構造物の設計寸法値を入力し、コンピュータ内で三次元設計座標値に変換させてもよい；

②同じ画面上に計測機 1 の設置位置を入力し；

③この点を原点として計測対象構造物 10 上の測点の設計極座標値を求め、視準する測点上のターゲット 6 の決定、測定順番の設定等の、計測条件のシミュレーションを行い、計測機 1 の設置可能範囲を求める；

④前記設置可能範囲内に計測機 1 を設置し；

⑤計測対象構造物 10 上の 3 測点を基準点 (9 a, 9 b, 9 c) とし、その測点上のターゲットの極座標値を計測機 1 により実測し、測点の三次元座標値に変換する；

⑥この 3 点のうち任意の 1 点を原点、原点 9 a と第 2 点 9 b を結んだ線を x 軸と、この軸と第 3 点 9 c を含む平面を x-y (x-z) 面と、この面に垂直な軸を z 軸と定義し、計測対象構造物の局所座標系とする。

【0027】⑦計測対象物 10 の三次元設計座標値のうちで、前記の 3 基準点 (9 a, 9 b, 9 c) に対応する 3 点の設計座標値からなる原点 9 a、座標軸、基準面、を計測対象構造物上の原点 9 a、基準軸、基準面、に合*

$$\theta = \sin^{-1} (s/l)$$

【0032】ターゲット面の光軸となす角度 θ は、ターゲット面 7 の傾きの方向によって正負が決定されるが、このターゲット面 7 の傾きの方向は CCD カメラで捉え

*致させれば、計測対象構造物の実物の局所座標系と三次元設計モデルの局所座標系は一致する。図式的に表現すれば、図 4 のように計測対象構造物 10 の実物のうえに共通の座標軸を持つ三次元設計モデルが投影された状態と見ることができる。このことにより、実測時の計測機 1 位置を原点 9 a としたときの三次元設計モデル上の測点の設計極座標値が座標変換により求められる。また、図 5 のように 1 箇所の計測機 1 の設置点から視準できない測点 15, 16 は、前記の③計測のシミュレーションから解っているもので、それらに設置されたターゲットを視準できる複数の計測機 1 A の設置点 12, 13 を設け、計測対象物内外の両方から視準可能な共通測定点 14 にターゲット 6 を設置し、これを計測の接合点として座標を一致させる。この計測機設置数、位置および共通測定点の数、位置もあらかじめシミュレーションしておく。

【0028】⑧この測定対象ターゲットの設計極座標値に、その測点のターゲットの形式、色、サイズといった属性データを加え、各々のターゲットの自動追尾、探索、視準用の数値制御データを作成し；

⑨計測機 1 を駆動し CCD カメラの視準方向、拡大倍率、合焦の遠隔操作を行い、測定対象ターゲットを自動的に追尾、探索、視準する。

【0029】本発明における、ターゲット中心点を自動視準する原理は以下のである。図 6 は計測機 1 の CCD カメラで捉えたターゲット 6 の影像である。CCD カメラによりターゲット 6 を視準し得られた真円のターゲット面を持つターゲット像 7 は、CCD カメラの光軸と角度を持っていれば楕円の画像 17 として捉えられ

る。【0030】ここでターゲット 6 の中心点の、CCD カメラの視準点からのずれ量 (Δx , Δy , Δz) の算出法を図 7 を用いて説明する。視準軸 (光軸) 方向を Z p とし、それと直交する面を x p-y p 平面とし、水平方向に x p 軸を定め、それと直交する軸を Y p 軸とし画像座標系を設定し、ターゲット上の視準点すなわち光軸がターゲットと交差する点を P とし画像座標の原点とする。この X p-Y p 平面上のターゲット像の画像解析を行い、ターゲット像の図心 C の座標値 (Δx , Δy) をターゲット像の図心計算から、ターゲット面の光軸に対する傾き θ を、ターゲット像の長径と短径の比あるいはターゲット (真円) とターゲット像 (楕円) の面積比から求める。

【0031】

【数 1】

$$\dots (1)$$

たターゲット面の楕円状の画像 17 からだけでは判断できない。このターゲット面 7 の方向を判定する手順を図 8 と図 9 のフローチャートを用いて説明する。図 8 の O

点は計測機 1 の位置で全体座標系の原点であり、対象ターゲット上の視準点が P、光軸をターゲット像の短軸方向に任意に移動して視準されたターゲット上の点が P' である。2 点視準法では、

- ①測定対象ターゲット上の P 点を視準し、
- ②その点の極座標値、すなわち斜距離 R、水平角 H_p、鉛直角 V_p を得る、また
- ③ターゲット像の画像解析から (Δx, Δy, θ, α) を求めておく、次に
- ④ターゲット上の光軸をターゲット像 20 の短軸に平行に移動して別の点 P' を視準し、
- ⑤その点の斜距離 R' を測定し、
- ⑥R と R' の値を比較することによって、ターゲット面 7 の向き、すなわち θ の正負がわかる。

*

$$\Delta z = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} \cdot \frac{\sin \{ \alpha + \tan^{-1} (\Delta y / \Delta x) \}}{\tan \theta}$$

... (2)

【0036】次に、対象ターゲットの中心点の座標値の算出方法を図 11 を用いて説明する。計測機 1 を原点 O 20 とした時のターゲット中心点 T の全体座標系における三次元座標値 (X_c, Y_c, Z_c) が、傾斜したターゲット像の視準点 P の極座標値 (R, H_p, V_p) と画像座

$$\begin{pmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{pmatrix} = R \begin{pmatrix} \sin V_p \cdot \sin H_p \\ \sin V_p \cdot \cos H_p \\ \cos V_p \end{pmatrix}$$

$$+ \begin{pmatrix} \cos H_p \sin H_p \cos V_p \sin H_p \sin V_p \\ -\sin H_p \cos H_p \cos V_p \cos H_p \sin V_p \\ 0 \quad -\sin V_p \quad \cos V_p \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{pmatrix}$$

... (3)

【0038】また、測点の三次元座標値の算出方法を図 12 を用いて説明する。ターゲット中心 T から測点 Q までのターゲット面の基線方向の距離を h、直角方向の距離を d とし、ターゲット像の長軸 (L 軸) と基線の画像のなす角度を β とすると、画像座標系においてターゲット

* 【0033】なお、1 点視準で行うこともできる。この場合は一例として、図 10 に示すようなターゲット面 7 に垂直な側面 19 を持つ円筒形台付きのようなターゲット自体で傾き方向を判別できるようなもの (b) を用いれば、ターゲットに傾きのある場合、(c) のようにターゲットの側面 19 が見える側が手前と判断でき、1 回の視準で θ の正負を判定できる。

【0034】さらに図 7 に示すターゲットの長軸 (L 軸) の水平軸 (X_p 軸) となす角度 α を求め、以下のような計算式によりターゲット中心点の光軸方向のずれ量 Δz を算出する。

【0035】

【数 2】

※標系における視準点 P からのずれ量 (Δx, Δy, Δz) から、下式により求められる。

【0037】

【数 3】

★ト中心点 T を原点としたときの測点 Q の座標値 (Δx_s, Δy_s, Δz_s) は下式により求められる。

【0039】

【数 4】

$$\begin{pmatrix} \Delta x_s \\ \Delta y_s \\ \Delta z_s \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha & 0 \\ -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{h \cdot \sin \theta \cdot \tan \beta}{\sqrt{\sin^2 \theta + \tan^2 \beta}} \\ \frac{h \cdot \sin \theta}{\sqrt{\sin^2 \theta + \tan^2 \beta}} + d \cdot \cos \theta \\ \frac{h \cdot \cos \theta \cdot \tan \beta}{\sqrt{\sin^2 \theta + \tan^2 \beta}} - d \cdot \sin \theta \end{pmatrix}$$

... (4)

【0040】上記の測点 S の画像座標系における座標値を全体座標系に変換して、計測機 1 を原点 O 20 とした時の測点 S の三次元座標値 (X_s, Y_s, Z_s) は次式によ

り求められる。

【0041】

【数 5】

$$\begin{pmatrix} X_s \\ Y_s \\ Z_s \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{pmatrix}$$

$$+ \begin{pmatrix} \cos H_p & \sin H_p \cdot \cos V_p & \sin H_p \cdot \sin V_p \\ -\sin H_p & \cos H_p \cdot \cos V_p & \cos H_p \cdot \sin V_p \\ 0 & -\sin V_p & \cos V_p \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta x_s \\ \Delta y_s \\ \Delta z_s \end{pmatrix}$$

... (5)

【0042】次にターゲットの自動探索について説明する。一般的には、土木、建築、構造物および船舶の部材、ブロックといった計測対象物の設計値からのずれは、数mm～数cm程度であり、ターゲット6の大きさ、取り付け方向を適切に選ぶことにより、設計値で視準すれば、通常1回の視準でCCDカメラの光軸はターゲット内に入るが、大規模な計測対象物あるいは製作精度の悪い計測対象物の場合、設計値で視準してもCCDカメラがターゲット像を捉えることができないことがある。このような場合にはターゲットの自動探索が必要となる。図13にはターゲットの自動探索の手順を示すフローチャートを示す。画像解析により画面上（視野内）にターゲット像が存在するか否かを判定し、無ければ自動的にCCDカメラのズーム機構を作動させ、視野を拡大しターゲットを探索する。また、ターゲット像がCCDカメラの視野内に入っているが、ターゲット内にCCDカメラの光軸が入っていない場合、またCCDカメラの視野内に測定対象ターゲット像の全体が入っていない場合には、そのターゲットの全体像または部分像の画像解析により光軸からのずれ量（ δx 、 δy ）を求め、光軸の移動を行いターゲットを視準する。そして自動視準を行う際のCCDカメラの倍率はターゲットの画像処理に最適な状態に切り替える。

【0043】次に、CCDカメラ視野内に複数のターゲットを捉えた場合の測定対象ターゲットの識別法について説明する。計測対象物上の近接した測点や遠方の測点を計測する場合、図14に示すようにCCDカメラの視野内22に複数のターゲット像が存在することがある。この場合、ターゲットの視準面が特定の色に着色されたターゲット23を用いてカラーCCDカメラにより識別するか、またはターゲットの視準面の形状や視準面上に記された特定のマークを利用したパターン認識により、対象ターゲットの自動選択を行う。

【0044】上記の方法により、自動追尾、探索、視準された計測対象物上のターゲットの中心点の三次元座標値は、ターゲットの設置偏位（測点とターゲット中心とのずれ量）が補正されて測点の三次元座標値が求められる。さらに、携帯型コンピュータ4に記憶された設計値と比較され、計測機1の配置およびターゲット6の設置等の計測の状態の確認ならびに計測対象物の誤差量の出力をリアルタイムで行う。

【0045】—第2実施例—

本発明の第2の実施例として自動追尾と自動視準に三次元CAD使用した例を説明する。三次元座標計測解析システムを構成する機器のうちのターゲット6、計測機1、画像処理装置2等は、第1実施例と同一のものでよいが、モニター付きコンピュータ3と携帯型コンピュータ4は、三次元CADが作動するのに十分な能力および容量のCPUとハードディスク等の外部記憶装置を装備しているものとする。以下、前記のように構成したシステムを用いて計測対象物10上の測点の三次元座標値を自動的に計測する手順を前記図3の計測手順の骨子を示すフローチャートを用いて説明する。

【0046】第2実施例の三次元座標値自動計測法は次のように行なう、まず、

①計測対象となる構造物の設計あるいは製作のために作成された既知の三次元設計座標値をモニター付きコンピュータを使用して三次元CADの図形データとして入力を行い、モニター画面上に計測対象構造物の三次元設計モデルを作成し測点を決定する。この場合、構造物の設計寸法値を入力して三次元モデルを作図してもよい。つぎに、

②同じ三次元CADの画面上に計測機1の設置位置を入力し；

③この点を原点として計測対象構造物上の測点の設計極座標値をCADの座標表示機能により求める。また、計測機1が設置された位置から視準できる測点上のターゲットを三次元CADの隠線処理機能を用いて選定し、ターゲットの測点からの偏位およびターゲット面の向きを設定したうえで、ターゲットの中心点の設計極座標値を③と同様にして求め、測定順番の設定等の計測条件のシミュレーションを行い、計測機1の設置可能範囲を求める；

④前記設置可能範囲内に計測機1を設置し；

⑤計測対象構造物上に基準面を構成する3測点上ターゲットの極座標値を計測機1により実測する；

⑥この座標値は三次元CADに入力され、CADの座標表示機能により測点の三次元座標値を求め、任意の1点を原点、原点と第2点を結んだ線をx軸と、この軸と第3点を含む平面をx-y（x-z）面と定義して、計測対象構造物の局所座標系とし、三次元CAD上に設定する；

⑦その局所座標上に①で作成された計測対象物の三次元設計モデルの複写を行う。

【0047】そして、実測時の計測機1位置を原点としたときの三次元設計モデル上の測点に設置されたターゲットの中心点の設計極座標値がCADの座標表示機能により求められる。また図5のような座標の接続も三次元CAD上で行う。このとき、計測機設置数、位置および共通測定点の数、位置もあらかじめCAD上でシミュレーションしておく。手順⑧、⑨は第1実施例と同様である。

【0048】次に図15に示すように自動視準においてCCDカメラで捉えたターゲット像17を画像解析することによって得られたデータ(Δx , Δy , θ , α , β)と光波距離計と測角計により測距、測角された視準点Pの極座標値(R , H_p , V_p)を用いて、ターゲット6の中心点と測点の三次元座標値を三次元CADを用いて求める方法について説明する。

【0049】まず、計測機1を原点として、この原点Oと対象ターゲットの視準点Pを結んだ線分OP(光軸)に直角な平面A(25)を設定する。図15の(a)はターゲット像17を含む平面25であり、ターゲット上の視準点Pとターゲット像17の図心Cはこの平面内25に存在する。図15の(b)に示すように、平面25(A)上の視準点Pを通りターゲット像17の楕円の長軸に平行な直線を交線R-Rとする、平面25と($\pi/2 - \theta$)の角度をなす平面26(B)を設定する。この平面26が図15の(c)に示すターゲット面7を含む平面であり、ターゲット像の図心Cを平面Bに投影した点がターゲットの中心点Tである。計測機11を原点Oとした時のターゲット中心点Tの全体座標系における三次元座標値をCADの座標表示機能により直接求める。また図15の(a)において、ターゲット像の中心点Tを通りターゲット像17の長軸と β の角度を持つ径線CD27を引き、平面26に投影する。図15の(c)に示すようにこの径線の投影線はターゲット上に記された基線と一致する。図15の(d)は投影線TE28に沿ったターゲット面7に垂直な断面図であるが、ターゲット中心点Tと測点Qの位置関係は既知であるので、ターゲット中心点Tから投影線TE28方向にh、垂直にdの距離の点が測点Qであり、三次元座標値はCADの座標表示機能により直接求める。

【0050】なお、全体座標系や任意の局所座標系における測点の座標値、寸法値および図心も、三次元CADの座標表示、距値計算、面積計算、図形情報機能等を用いて求める。

【0051】

【発明の効果】本発明によれば、計測対象物の三次元座標の計測において、既知の三次元設計座標値を用いてCCDカメラと距離計、測角計からなる計測機1を自動的に制御して、計測対象物上の測点に設置されたターゲッ

トの自動追尾、自動探索、自動視準を行うため、実際の計測作業において入手作業が大幅に省略され、人為的ミスが少なくなり、計測現地における計測作業が迅速かつ確実にできる。また、自動視準の際、ターゲット中心点に光波距離計の視準軸を完全に合致させることなく、CCDカメラによって得られたターゲット像を画像解析することよりずれ量を求めて補正するので、視準操作に要していた時間の大幅な短縮がはかられ、計測スピードが速く、しかもターゲットの中心と距離計の視準軸を合致させる際生じる機械誤差を排除でき高精度の計測ができる。さらに、計測対象物上の測点から偏位させた位置に回転可能なターゲットを設置することが可能となり、計測機の設置台数あるいは移動回数を削減することができ、計測設備コスト、計測時間を大幅に抑えることができるとともに、計測機の切り替えや移動による座標の接合の際に生じる測定誤差を最小限にすることができ高精度の計測ができる。また、計測途中で計測対象物の測定値を設計値と比較でき、計測の状態および計測対象物の誤差量がリアルタイムで確認できるようになり、計測の信頼性が向上する。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明を実施する、大型構造物の計測測定装置の全体構成を示すブロック図である。

【図2】 図1に示す視準用ターゲット6の数例を示す正面図である。

【図3】 本発明の第1実施例の計測手順の骨子を示すフローチャートである。

【図4】 図1に示す計測対象構造物(実線)と、該構造物の共通の座標軸を持った三次元設計モデルにより表わされる像(点線)を、計測機1を基準点にして示す斜視図である。

【図5】 図1に示す一箇所の計測機1で視準できない測点の計測態様を示す斜視図である。

【図6】 図1に示す計測機1のCCDカメラの光軸に対して θ の角度を持つ真円のターゲットを視準して得られたターゲット像(楕円)と、光軸に対して直交するターゲットの像(円)を示す平面図である。

【図7】 図1に示す計測機1のCCDカメラで撮影したターゲットの中心の光軸方向のずれ量 Δz を示す平面図である。

【図8】 図1に示す計測機1のCCDカメラで撮影したターゲットの、2点視準法により求めるターゲット面の傾斜方向を示す斜視図および側面図である。

【図9】 本発明の第1実施例における2点視準法の計測手順の骨子を示すフローチャートである。

【図10】 本発明で用いるターゲットの変形例を、図1に示す計測機1のCCDカメラで撮影した画像を示す平面図であり、(a)はターゲットがCCDカメラに正対向しているときの画像を、(b)は横向きときの画像を、(c)は傾めのときの画像を示す。

15

【図 11】 図 1 に示す計測機 1 を原点とするターゲット中心点の三次元座標値 Δx 、 Δy 、 Δz を示す斜視図である。

【図 12】 測点の三次元座標値を算出するときの、図 1 に示す計測機 1 の CCD カメラで撮影したターゲットの中心 C と測定 Q の立体関係を示す平面図である。

【図 13】 本発明の第 1 実施例におけるターゲットの自動探索の手順を示すフローチャートである。

【図 14】 図 1 に示す計測機 1 の CCD カメラの視野内に複数のターゲットがあるときの、CCD カメラの撮影画面の一例を示す平面図である。

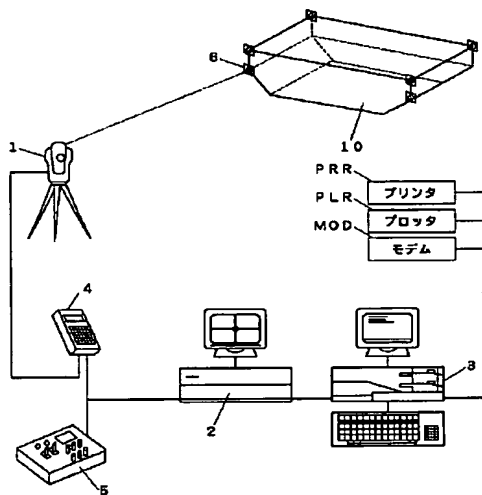
【図 15】 本発明の第 2 実施例における、図 1 に示す計測機 1 の CCD カメラで撮影したターゲット像の中心 C と測定 Q の立体関係を示す平面図であり、(a) は CCD カメラの光軸に直角な面 25 上のターゲット像を示し、(b) は基準平面 X-Z と、面 25 と、面 25 と所定の角度をなす面 26 との関係を示す平面図、(c) は面 26 上のターゲット像を示す平面図、(d) は (c) に示す投影線 TE 28 に沿った、ターゲット面 7 の断面を示す平面図である。

【符号の説明】

1 : 計測機

2 : 画像処理装置

【図 1】



16

3 : モニター付きコンピュータ

4 : 携帯型コンピュータ

5 : コントローラー

6 : ターゲット

7 : ターゲット面 (視準面)

8 : 基線

9 a, 9 b, 9 c : 基準点

9 a : 原点

10 : 計測対象物

11 : 計測対象物の設計値の投影図

12 : 計測機 A

13 : 計測機 B

14 : 共通計測点

15 : 計測機 B によって計測できない測点

16 : 計測機 A によって計測できない測点

17 : 光軸に対して θ の角度を持つターゲット像

18 : ターゲット面の法線ベクトル

19 : ターゲットの側面

20 : ターゲット像

21 : ターゲット側面像

22 : CCD カメラの視野 (モニター画面)

23 : 視準面に着色されたターゲット像

24 : 測定対象ターゲット

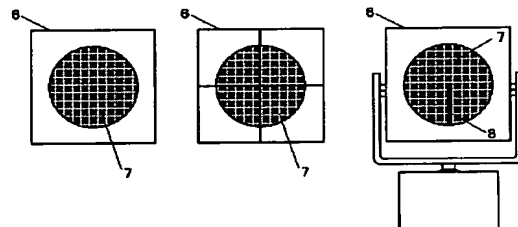
25 : 平面 A

26 : 平面 B

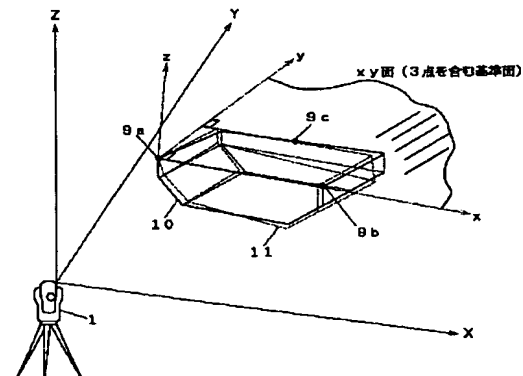
27 : 径線 CD

28 : 投影線 TE

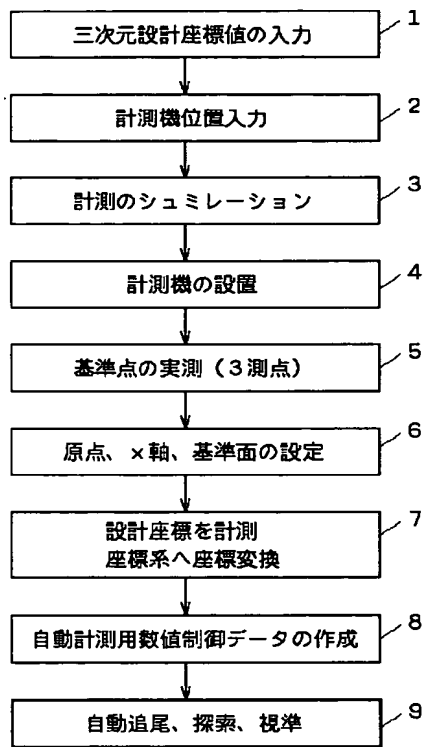
【図 2】



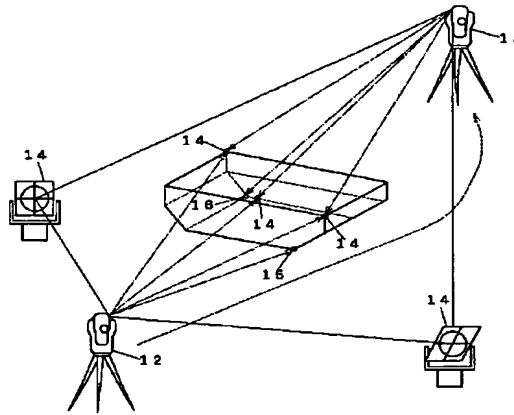
【図 4】



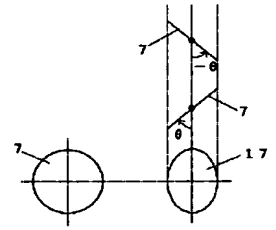
【図 3】



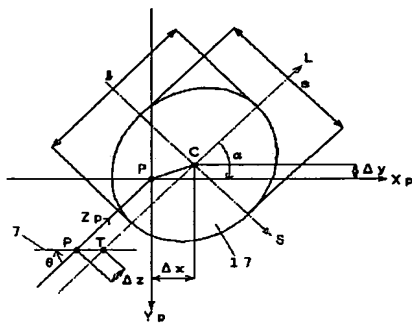
【図 5】



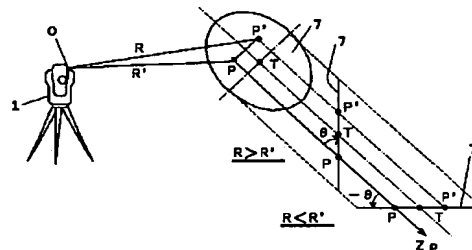
【図 6】



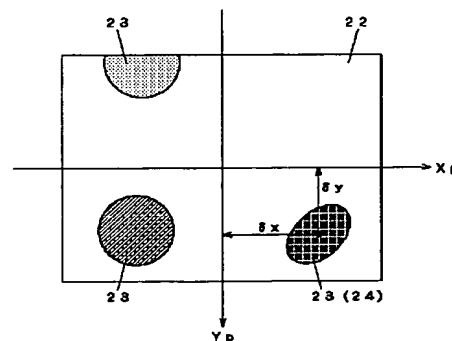
【図 7】



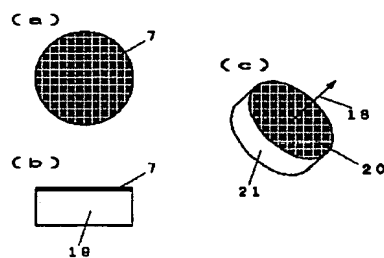
【図 8】



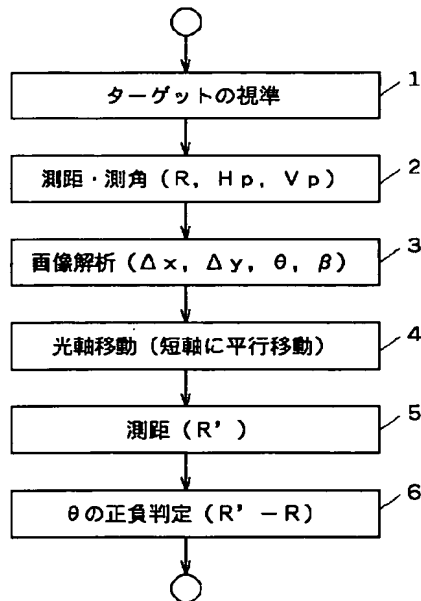
【図 14】



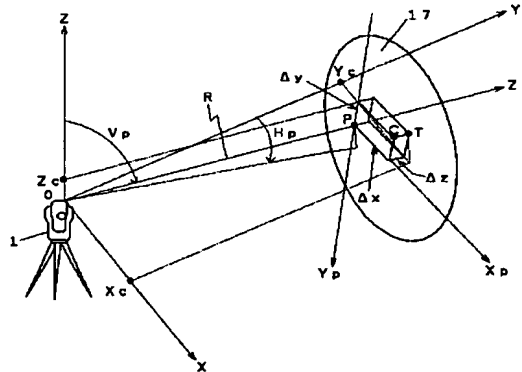
【図 10】



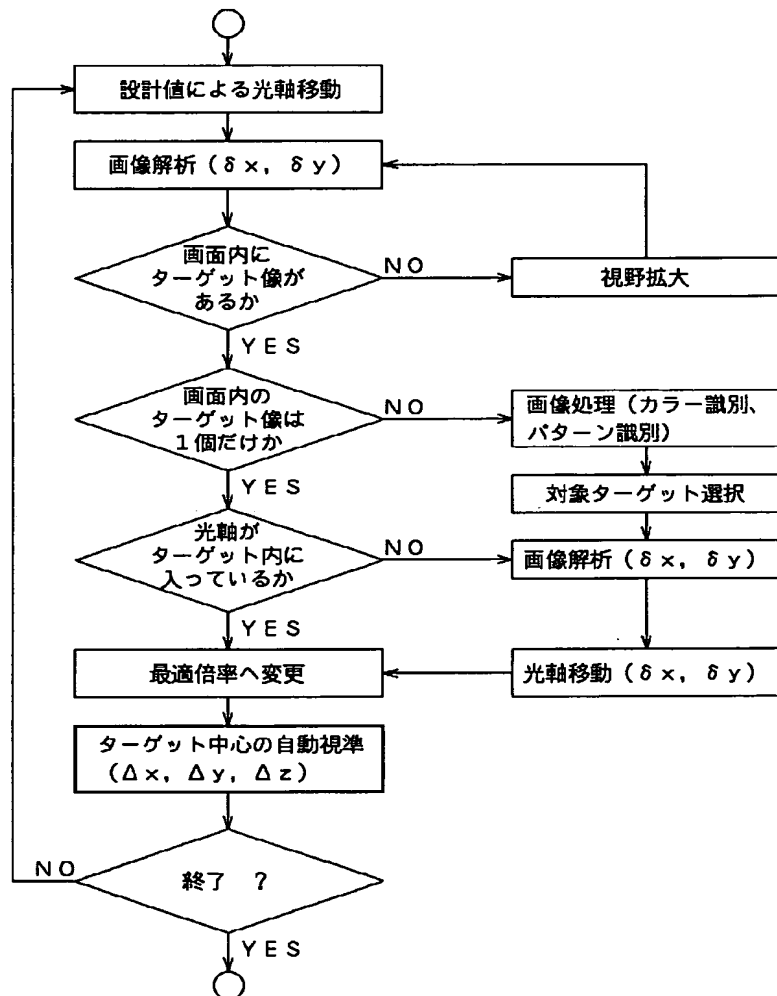
【図 9】



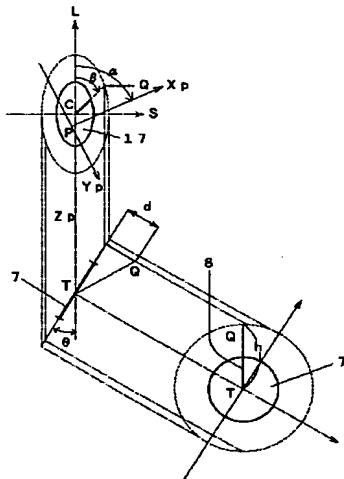
【図 11】



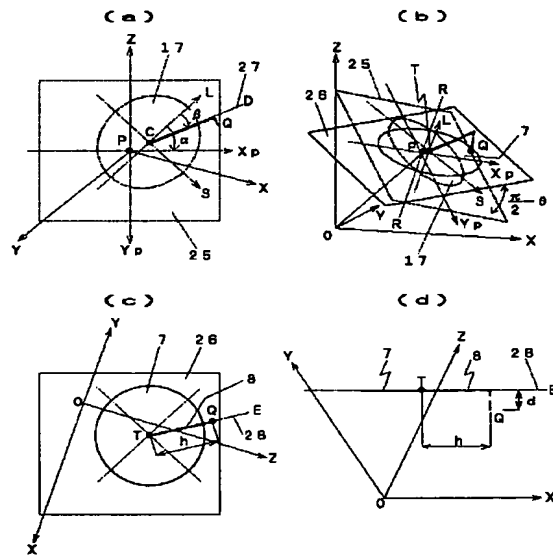
【図 13】



【図 12】



【図 15】



フロントページの続き

(51) Int. Cl.⁶

G 0 6 T 7/00

// G 0 6 F 17/00

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所